Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Heinrich Harms

Elektrookulographie (EOG) in monokularer Ableitung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Werner Fabian
aus Dresden

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0024

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Heinrich Harms

Elektrookulographie (EOG) in monokularer Ableitung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Werner Fabian
aus Dresden

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Professor Dr. G. Mackensen
2. Berichterstatter: Professor Dr. H. Harms

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v.Spangenberg KG · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
II. METHODE	3
a) Versuchsperson	3
b) Anbringung der Elektroden	3
c) Ableitungsmethoden	3
d) Versuchsanordnung	4
e) Versuchsdurchführung	5
f) Ausmessung der registrierten Potentiale ...	6
III. ERGEBNISSE	7
a) Allgemeiner Verlauf der Kurven	7
b) Mittelwertskurven der 3 Ableitungsmethoden aus jeweils 10 Einzelkurven	7
c) Der einfache mittlere Fehler	10
IV. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE	12
V. ZUSAMMENFASSUNG	13
VI. TABELLARISCHER ANHANG	15
VII. LITERATURVERZEICHNIS	24

I. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

HOLMGREN entdeckte 1861 die für die Elektrookulographie (EOG) wesentlichen Voraussetzungen: Die Veränderung des Ruhe-Potentials bei Lichteinfall auf die Netzhaut. Daß die Netzhaut wesentlich an der Ausbildung des Ruhe-Potentials beteiligt ist, wird heute allgemein angenommen (G.B. ARDEN, A. BARRADA, J.H. KELSEY 1962). Wenn also die Netzhaut in irgendeiner Weise pathologisch verändert ist, müßte sich dies in einem veränderten EOG bemerkbar machen.
In der Tat sind in letzter Zeit mehrere Arbeiten bekannt geworden, die von verändertem EOG bei Netzhauterkrankungen berichten (FRANCOIS, VERRIEST und A. De ROUCK 1956; ARDEN, BARRADA, KELSEY 1962). Das Ziel aller dieser Untersuchungen ist, das EOG zu einer diagnostischen Methode für die Prüfung der Netzhautfunktion zu entwickeln.

Um Netzhautveränderungen eines oder beider Augen einer Person elektrookulographisch zu erkennen, sind mehrere Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Die Potentiale beider Augen müssen getrennt abgeleitet werden (monokulare Ableitung), um die Kurven miteinander vergleichen zu können.

2. Es müssen Kriterien verabredet werden, nach denen ein EOG beurteilt werden soll. Solche Kriterien sind:
   a) Das Potential im 1. Licht-Gipfel (Maximum),
   b) das Potential im 1. Licht-Tal (Minimum).

   Für die Beurteilung eines EOG ist es erforderlich festzustellen, innerhalb welcher Grenzen diese Größen bei einer Gruppe von gesunden Personen liegen. Aber auch bei Einzelpersonen muß die Streuung dieser Größen festgestellt werden.

3. Wenn das EOG als diagnostische Methode angewandt werden soll, muß es schnell und zuverlässig auszuführen sein.

Die Ziele dieser Arbeit sind:

1. Auf die genannten Kriterien hin drei verschiedene Möglichkeiten der monokularen Ableitung zu untersuchen,
2. zu prüfen, wie die zwei oben aufgeführten Größen bei einer Einzelperson streuen.

II. METHODE

a) Versuchsperson (VP): Die 30 Untersuchungen wurden an einem augengesunden Studenten ausgeführt. Seine Sehschärfe beträgt

rechts 0,3; -1,0 cyl. A. 80° und
links 0,7; -0,5 cyl. A. 90°.

Der Hintergrund beider Augen ist regelrecht, die Gesichtsfelder sind nicht eingeengt.

b) Anbringung der Elektroden:
Eine zuverlässige Anbringung der Silber-Klebe-Elektroden gehört zu den wichtigsten Voraussetzungen für eine störungsfreie Ableitung. Ich habe folgende Methode angewendet:
Ein Stück Leukoplast (2,5/2,5 cm) wird auf Stanniol oder ein Stück Filmstreifen geklebt. Mittels einer Lochzange wird aus diesen beiden Schichten ein Loch von der Größe der Elektrodenöffnung (Durchmesser 6 mm) ausgestanzt. Anschließend wird die Elektrode mit ihrem Filzring (Kreisring: d_1 = 6 mm; d_2 = 10 mm) mittels eines Klebstoffes auf dem Leukoplast über dem ausgestanzten Loch befestigt. Nach einer Stunde kann das Leukoplast samt aufgeklebter Elektrode vom Stanniol bzw. Film abgezogen werden und auf die betreffende Hautstelle geklebt werden. Die Haut muß dort, wo die Elektroden angebracht werden sollen, gründlich mit Alkohol gereinigt werden. Dies geschieht, um den Übertragungswiderstand herabzusetzen. Der Hohlraum zwischen Elektrode und Haut wird mit handelsüblicher Elektrodenpaste ausgefüllt und das Einspritzloch mit Leukoplast gegen Austrockung verschlossen. In gleicher Weise wird der Übergangswiderstand zwischen Ohrelektrode und Haut herabgesetzt.

c) Ableitungsmethoden:
Methode 1: Zwei Elektroden und zwei Ohrklemmelektroden.

Die beiden Elektroden werden in der beschriebenen Weise an den lateralen Lidwinkeln angebracht, die Ohrklemmen an den Ohrläppchen. Das Potential wird zwischen lateralem Lidwinkel und Ohrläppchen abgegriffen.

Methode 2: Drei Elektroden und zwei Ohrklemmen.
Zwei Elektroden befinden sich am lateralen Lidwinkel und eine gemeinsame Elektrode auf dem Nasenrücken möglichst nahe an den medialen Lidwinkeln. Die Potentiale werden zwischen dem Nasenrücken und den lateralen Lidwinkeln abgegriffen. Die zwei Ohrklemmen dienen als indifferente Elektroden.

Methode 3: Vier Elektroden und zwei Ohrklemmen.
Jeweils zwei Elektroden werden im Abstand von 2,5 cm am Unterlid nahe der Lidkante angebracht. Zwischen diesen beiden Elektroden werden die Potentiale abgegriffen. Zwei Ohrklemmen dienen als indifferente Elektroden.

Nach zahlreichen Vorversuchen wurden mit jeder dieser Ableitungen 10 Elektrookulogramme aufgenommen.

d) Versuchsanordnung:

Die Versuchsperson (VP) sitzt in einem Faraday'schen Käfig vor einer halbkugeligen gleichmäßig ausgeleuchteten Fläche (ULBRICHT'sche Halbkugel). Im Inneren sind auf weißem Untergrund zwei rote Papierscheiben von 5 mm Durchmesser in Augenhöhe angebracht (Abb. 1, P_1 und P_2). Blickt die Versuchsperson horizontal von einem Punkt zum anderen, so wird ein Deviationswinkel von 30° überstrichen. Die beiden Scheiben können von zwei sehr schwachen roten Lichtpunktwerfern (Lp_1 und Lp_2) so beleuchtet werden, daß die VP, auch wenn die Kugelfläche selbst nicht beleuchtet ist, Blickbewegungen aus-

führen kann. Die Lichtquellen L_1 und L_2 erzeugen im Inneren der Halbkugel eine Leuchtdichte von 10 asb.

Die Kabel der Elektroden führen aus dem Faraday'schen Käfig zu einem EEG-Gerät der Firma Schwarzer (RC-Verstärker) mit Spezialkanälen für EOG. Die maximale Empfindlichkeit beträgt 300 V/cm. Die Zeitkonstante beträgt 2,0 sec; Papiervorschub 1 mm/sec.

Gleichzeitig werden die Spannungsänderungen auf dem Bildschirm eines Kathodenstrahloszillographen dargestellt und photographisch registriert.

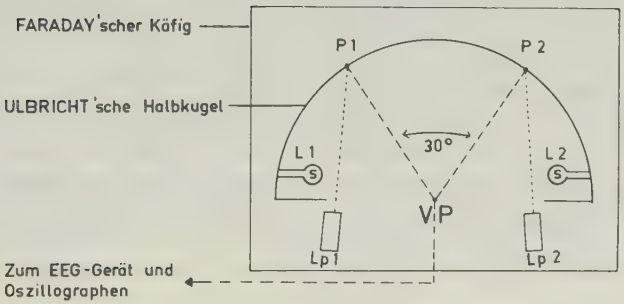

Abb. 1: Versuchsanordnung. VP = Versuchsperson, P_1 und P_2 bezeichnen die Lage der Blickpunkte, Lp_1 und Lp_2 die Beleuchtungsquellen für die Blickpunkte, L_1 und L_2 sind die Lichtquellen zur Beleuchtung der gesamten Halbkugel mit 10 asb.

e) Versuchsdurchführung:

Die VP sitzt mit angelegten Elektroden vor der ULBRICHT'schen Halbkugel und adaptiert 20 Minuten im Dunkeln. Diese

Zeit reicht nach ARDEN und KELSEY (1962) aus, um die Potentialanstiege infolge Lichteinfalls, die durch die Zimmerbeleuchtung hervorgerufen wurden, zum Abklingen zu bringen. Schon nach 15 Minuten Dunkeladaptation beginnen wir mit dem Ableiten von Potentialen. Es werden nur Lp_1 und Lp_2 (Lp_1 bedeutet Lichtquelle zur isolierten Beleuchtung des Punktes P_1, so daß dieser für das Auge gerade sichtbar wird; entsprechende Bedeutung für Lp_2) eingeschaltet und die VP aufgefordert, zwischen den beiden beleuchteten Punkten P_1 und P_2 Blickbewegungen auszuführen. Während 1/2 Minute werden diese Blickbewegungen registriert, und zwar sowohl auf dem Schreibpapier des EEG-Gerätes als auch auf dem Oszillographen. Mit einer Kamera vor dem Oszillographen werden etwa 15 aufeinanderfolgende Blickbewegungen photographiert. Nun folgt eine Pause von einer Minute, anschließend werden wieder 1/2 Minute lang Blickbewegungen ausgeführt, und es folgt abermals eine Pause von einer Minute. Nach der 20. Minute der Dunkeladaptation werden die beiden Lichtquellen L_1 und L_2 eingeschaltet und nun bei Belichtung Blickbewegungen registriert. Von diesem Zeitpunkt an hat das Umfeld eine Leuchtdichte von 10 asb. Bei dieser Helligkeit wird 40 Minuten lang registriert. Alle 15 Minuten wird eine Eichung durchgeführt: Es werden Eichimpulse von 500 µV aufgenommen, die am EEG-Gerät eingestellt werden können.

f) Ausmessung der registrierten Potentiale:

Die Ausmessung könnte direkt mit einem Lineal auf dem Registrierpapier erfolgen, etwa in der Art, die ARDEN und KELSEY angegeben haben. Genauere Resultate werden jedoch erhalten, wenn man die Negativbilder des Films auf eine Wand oder auf einen Schirm projiziert und dort die vergrößerten Ausschläge mißt. Die Abmessung vereinfacht sich, wenn der registrierte Eichimpuls (500 µV) auf 5 cm vergrößert wird. Dann entsprechen 1 cm auf dem Bildschirm einem Potential von 100 µV. Von den jeweils etwa 15 registrierten Blick-

bewegungen wird aus 10 Ausschlägen der Mittelwert gebildet. Dieser Wert wird in Abhängigkeit von der Zeit in ein Koordinatensystem eingetragen.

III. ERGEBNISSE

30 Elektrookulogramme wurden für die Auswertung verwendet, von jeder Ableitungsart 10 Stück.

a) Allgemeiner Verlauf der Kurven (Abb. 2 - 4):

Das Potential der beiden Augen zeigt in allen 3 Ableitungen den typischen Verlauf: Nach der Belichtung fällt das Potential zunächst leicht ab (allerdings nicht in allen Kurven erfaßt). Diesen initialen Potentialabfall hatte zuerst GOTCH 1903 beschrieben. Danach steigt das Potential an, erreicht seinen Höhepunkt (= Licht-Gipfel = Maximum), um dann zu einem Minimum (= Licht-Tal = Minimum) abzufallen und wieder anzusteigen, ohne allerdings die Höhe des ersten Gipfels zu erreichen.

b) Mittelwertskurven der 3 Ableitungsmethoden aus jeweils 10 Einzelkurven (Abb. 2 - 4 , Tab. 1a und 1b):

Der Mittelwert $\bar{x}$ ergibt sich aus der Beziehung

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_{10}}{10}$$

Um nun die Frage zu beantworten, ob sich die mit der jeweiligen Methode gemessenen Werte irgendwie charakteristisch unterscheiden, wurde ein Mittelwertsvergleich der Minima und Maxima rechts und links nach KRUSKAL-WALLIS durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß sich diese Mittelwerte nicht voneinander unterscheiden. Als Signifikanzniveau wurde durchweg $2\alpha = 0{,}10$ (zweiseitig) gewählt. Die Mittelwerte der Maxima der Ableitung 1, 2 und 3 rechts unterscheiden sich nur zufällig voneinander. Das gleiche

gilt jeweils von den Maxima links und von den Minima rechts sowie links in allen 3 Ableitungen.

Somit ist innerhalb der 3 Ableitungsmethoden bezüglich der Maxima und Minima kein Unterschied festzustellen.

Andererseits ist den Werten der Tab. 1a und 1b und den Abb. 2 - 4 zu entnehmen, daß der Unterschied der Mittelwerte zwischen dem rechten und linken Auge bei Ableitungsmethode 2 am geringsten ist: Er beträgt z.B. bei den Minima (Tab. 1b) 318,5 µV minus 294,0 µV also 24,5 µV im Gegensatz zu 40,8 µV und 43,5 µV bei Ableitungsmethode 1 und 3. Diese Differenz ist aber auch in sämtlichen anderen Punkten bei Ableitungsmethode 2 am kleinsten. Unter diesem Gesichtspunkt würde man deshalb mehr zur 2. Methode neigen.

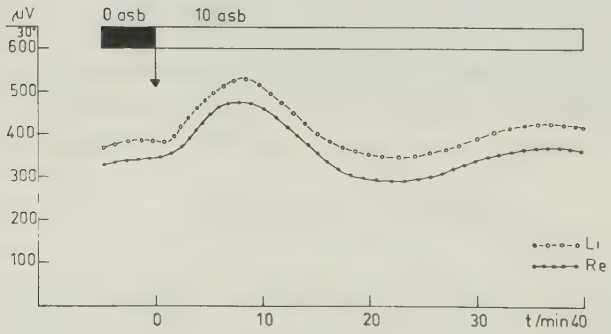

Abb. 2: Ableitungsmethode 1. Die Abb. zeigt die beiden Mittelwertskurven $\bar{x}$ aus 10 Einzelkurven der Potentiale des rechten und linken Auges.

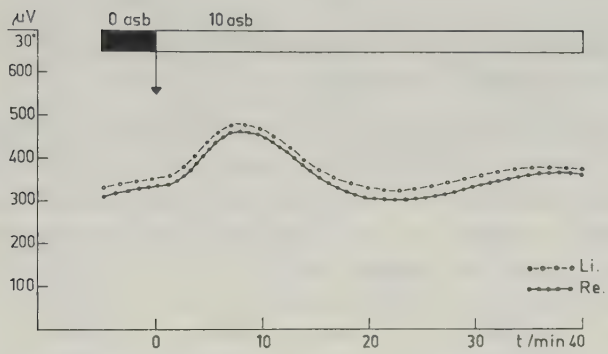

Abb. 3: Ableitungsmethode 2. Mittelwertskurven $\bar{x}$.

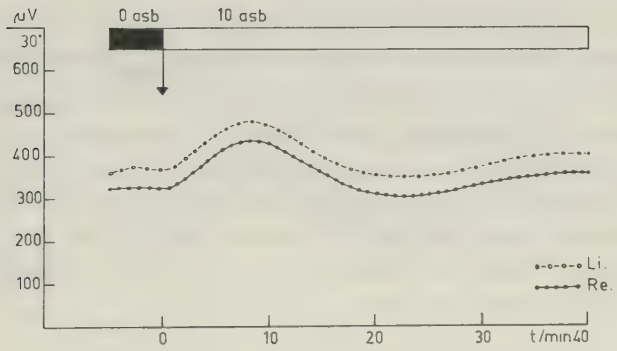

Abb. 4: Ableitungsmethode 3. Mittelwertskurven $\bar{x}$.

Die Gipfelzeit (t_G) stimmt bei allen 3 Ableitungsarten überein. Sie liegt zwischen 7 und 8,5 Minuten. ARDEN und KELSEY fanden Werte von 7 bis 9 Minuten.

c) Der einfache mittlere Fehler (standard deviation) (Abb. 5 - 7, Tab. 1a und 1b):

Der mittlere Fehler (s) gibt als Streuungsmaß die durchschnittliche quadratische Abweichung der einzelnen Werte vom Mittelwert an. Eine weitere Untersuchung müßte zum Ziel haben, diesen oben angeführten Mittelwertsvergleich an einer Gruppe von Augengesunden zu überprüfen. Die Standardabweichung wurde jeweils für den Licht-Gipfel, das Licht-Tal und für 5 weitere Punkte errechnet: 15 - 21 - 28,5 - 43,5 und 58,5 Minuten nach Versuchsbeginn. Diese Punkte entsprechen der 1.,5,10, 20. und 30. Registrierung der Blickbewegungen.

$$s = \pm\sqrt{\frac{(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \ldots + (\bar{x} - x_{10})^2}{10 - 1}}$$

Die Tab. 1a, 1b sowie 2a bis 2e zeigen, daß die Standardabweichung bei Methode 2 fast durchweg am kleinsten ist.

Außerdem wurde für die Minima und Maxima ein Varianzenvergleich nach HARTLEY durchgeführt (für diesen Test muß Normalverteilung vorausgesetzt werden, diese liegt jedoch nicht vor). Hierbei konnte gezeigt werden, daß sich die Standardabweichungen bzw. Varianzen der Minima und Maxima rechts und links der Methoden 1, 2 und 3 nur zufällig voneinander unterscheiden.

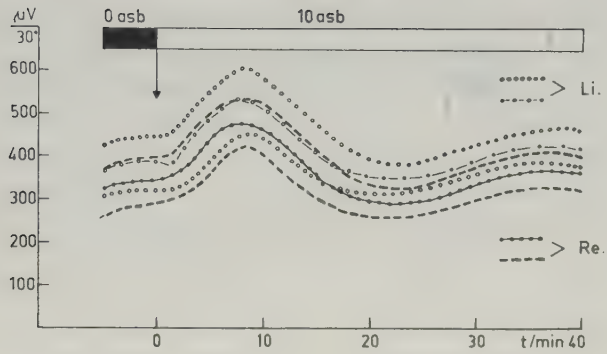

Abb. 5: Ableitungsmethode 1. Die Abb. zeigt wieder die beiden Mittelwertskurven ($\bar{x}$) und den Streuungsbereich ($\pm$ s) um die Mittelwerte.

Es bedeuten: ····· = $\pm s_{Li}$ ·-·-·- = $\bar{x}_{Re}$

·-·-·- = $\bar{x}_{Li}$ ------- = $\pm s_{Re}$

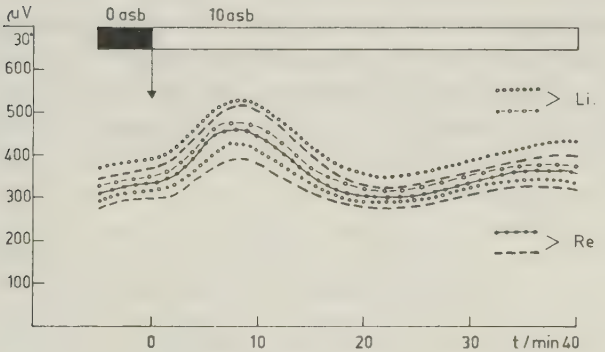

Abb. 6: Ableitungsmethode 2: Mittelwertskurven ($\bar{x}$) und Standardabweichung ($\pm$ s).

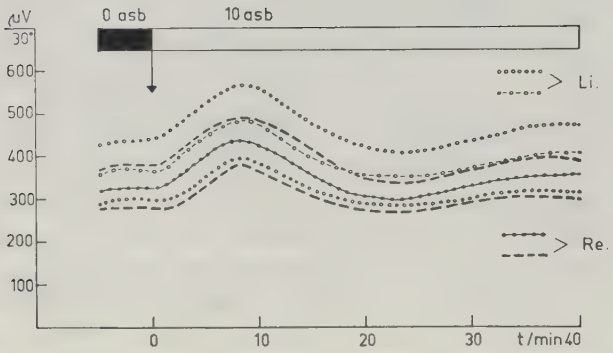

Abb. 7: Ableitungsmethode 3: Mittelwertskurven ($\bar{x}$) und Standardabweichung ($\pm$ s).

IV. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Die Größen, von denen eingangs die Rede war (s.S.1), sind bei einer Einzelperson keineswegs ganz eindeutig und unveränderlich. Zwar läßt sich statistisch belegen (Tab. 2f), daß in über 65 % (65,96 %) die Meßwerte bei dieser Versuchsperson innerhalb des Bereiches $\bar{x} \pm s$ liegen. Schauen wir uns aber die 30 Elektrookulogramme einzeln an, da wir es mit Einzelkurven in der Diagnostik zu tun haben, so sieht die Realität anders aus: Bei einer Einzelperson kann z.B. bei Ableitungsmethode 2 der Lichtgipfel rechts 360 µV aber auch 540 µV betragen (Tab. 1a), die Spannweite also 180 µV sein.

Bevor das EOG in die Diagnostik eingeführt werden könnte, müßten diese Untersuchungen an einer größeren Gruppe gesunder Personen wiederholt werden. Erst danach können systematische Untersuchungen an Patienten nützlich sein.

Nun zur Frage, welche Methode am zuverlässigsten ist und somit für weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet empfohlen werden kann. Statistisch gesehen zeigen die Messwerte, wie oben ausgeführt wurde, Homogenität bezüglich der Maxima, Minima und Standardabweichungen,d.h. die Methoden liefern grundsätzlich die gleichen Ergebnisse. Aus Tab 1a und 1b geht aber hervor, daß bei der 2. Methode die Streuung etwas geringer ist. Auch ist die Differenz der Potentiale zwischen rechtem und linkem Auge bei Methode 2 am geringsten. Wahrscheinlich ist mit dieser Methode eine Symmetrie der Ableitungspunkte am zuverlässigsten zu erreichen. Wenn man nun noch praktische Gesichtspunkte hinzuzieht, kann man sich am ehesten dazu entschließen, die 3. Methode abzulehnen, da die beiden am Unterlid befestigten Elektroden als sehr unangenehm empfunden wurden. Außerdem war es sehr schwierig die beiden Elektroden auf den Unterlidern in gleichen Abständen anzubringen. Aus all diesen Gründen sollte man sich zur 2. Methode entschließen.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Eine Methode zur zuverlässigen Anbringung der Elektroden wird angegeben. Es werden 3 Methoden der monokulären Ableitung geprüft:

Methode 1:
Zwei Elektroden an den lateralen Lidwinkeln.
Zwei Ohrklemmen als indifferente Elektroden.
Die Elektroden lassen sich mühelos symmetrisch anbringen.
Die Unterschiede der Mittelwerte und Standardabweichungen zwischen rechtem und linkem Auge sind erheblich.

Methode 2:

Zwei Elektroden an den lateralen Lidwinkeln.
Eine gemeinsame Elektrode auf dem Nasenrücken.
Zwei Ohrklemmen als indifferente Elektroden.
Der Unterschied der Mittelwerte zwischen rechtem und linkem Auge ist bei dieser Ableitung am geringsten; die Standardabweichung fast durchweg am kleinsten. Die Methode ist am zuverlässigsten.

Methode 3:

Vier Elektroden an den Unterlidern (rechts und links jeweils zwei Elektroden).
Zwei Ohrklemmen als indifferente Elektroden.
Bei dieser Methode ist es besonders schwierig, die Elektroden genau symmetrisch anzubringen. Sie wurde außerdem subjektiv am störendsten empfunden.

Tabellarischer Anhang: Seite

Tab. 1a: Einzelwerte der Maxima und Licht-Gipfelzeit 16

Tab. 1b: Einzelwerte der Minima 17

Tab. 2a: 15 Minuten nach Versuchsbeginn 18

Tab. 2b: 21 Minuten nach Versuchsbeginn 19

Tab. 2c: 28,5 Minuten nach Versuchsbeginn 20

Tab. 2d: 43,5 Minuten nach Versuchsbeginn 21

Tab. 2e: 58,5 Minuten nach Versuchsbeginn 22

Tab. 2f: Zusammenfassung der Tabellen 2a bis 2e 23

	Ableitungsmethode					
	1		2		3	
	Li	Re	Li	Re	Li	Re
Einzelwerte der Potentiale des 1. Licht–Gipfels (=Maxima) [µV]	455	420	400	360	340	320
	470↓	440↓	420	400	380	380↓
	480	445	460↓	410	385	405
	505	455	475	455	465	430
	525	468	475	470	480	435
	530	470	475	480	510	470
	530↑	505	500	490	545	475
	610	510	500↑	500	575	480
	620	515↑	530	525	585	480↑
	665	595	550	540	590	520
Mittelwert $\bar{X}$ [µV]	539,0	482,3	478,5	463,0	485,5	439,5
	Δ_1 = 56,7		Δ_2 = 15,5		Δ_3 = 46	
Standardabweichg. S	70,2	50,8	45,5	57,4	91,8	58,8
Prozentsatz der 10 Einzelwerte im Bereich $X \pm S$	60%	80%	60%	60%	50%	70%
Streuung der Stichprobenmittelwerte $S_{\bar{x}}$	22,2	16,1	14,4	18,2	29,0	18,6
Lichtgipfelzeit t_G [min]	8,2	7,8	7	7	8,5	8,5

Tab. 1a: Einzelwerte der Maxima, $\bar{x}$, s, $s_{\bar{x}}$ und Licht-Gipfelzeit t_G (s. Abb. 1, 2 und 3).

	Ableitungsmethode					
	1		2		3	
	Li	Re	Li	Re	Li	Re
Einzelwerte der Potentiale des 1. Licht-Tales (= Minima) [µV]	295	250	290	230	260	220
	300	260↓	290	280↓	275	265↓
	320↓	270	290↓	285	275↓	290
	325	275	300	285	330	300
	335	275	305	300	340	300
	335	285	320	305	345	300
	350	300	340	310	350↑	320
	358	315↑	345↑	310	410	325
	360↑	360	350	315	415	325↑
	390	370	355	320↑	415	335
Mittelwert $\bar{x}$ [µV]	336,8	296,0	318,5	294,0	341,5	298,0
	Δ_1 = 40,8		Δ_2 = 29,5		Δ_3 = 43,5	
Standardabweichg. S	28,9	40,9	26,8	26,3	58,9	34,3
Prozentsatz der 10 Einzelwerte im Bereich $x \pm S$	70%	70%	50%	90%	40%	80%
Streuung der Stichprobenmittelwerte $S_{\bar{x}}$	9,1	12,9	8,5	8,3	18,6	10,8

Tab. 1b: Einzelwerte der Minima, $\bar{x}$, s, $s_{\bar{x}}$ (s. auch Abb.1,2,3).

	Ableitungsmethode					
	1		2		3	
	Li	Re	Li	Re	Li	Re
Einzelwerte der Potentiale 15min. nach Versuchs - beginn [µV]	295 ↓	260 ↓	265	265	270	240 ↓
	305	285	290 ↓	285 ↓	275	293
	305	287	313	295	277 ↓	295
	325	290	330	310	310	305
	365	306	337	325	355	318
	370	340	340	325	365	318
	385	340	340	325	395	330
	392 ↑	345 ↑	345 ↑	327 ↑	423 ↑	330
	445	375	370	350	430	360 ↑
	470	380	375	365	455	395
Mittelwert $\bar{x}$ [µV]	365,7	320,8	330,5	317,2	355,5	318,4
	$\Delta_1 = 44,9$		$\Delta_2 = 13,3$		$\Delta_3 = 37,1$	
Standardabweichg. S [µV]	59,9	40,9	33,7	29,7	69,7	41,3
Prozentsatz der 10 Einzelwerte die im Bereich $\bar{x} \pm S$ liegen	70%	70%	60%	60%	50%	80%

Tab. 2a: 15 Minuten nach Versuchsbeginn wurden erstmals Blickbewegungen noch im Dunkeln registriert. $\bar{x}$, s und der Prozentsatz der Potentiale im Bereich $\bar{x} \pm s$.

	Ableitungsmethode					
	1		2		3	
	Li	Re	Li	Re	Li	Re
Einzelwerte der Potentiale 21 min. nach Versuchsbeginn [μV]	330↓	290	295	265	240	218
	335	295	305	285	275	275↓
	337	305↓	315	320↓	283	295
	340	310	360↓	335	375↓	315
	370	325	360	340	395	327
	370	370	373	350	412	335
	400	375	380	360	412	340
	410↑	380↑	385	360↑	432	360
	495	400	395↑	380	437↑	377↑
	510	420	398	385	450	407
Mittelwert $\bar{x}$ [μV]	389,7	347,0	356,6	338,0	371,1	324,9
	Δ_1 = 42,7		Δ_2 = 18,6		Δ_3 = 46,2	
Standardabweichg. S[μV]	65,5	47,3	38,0	38,8	76,3	53,7
Prozentsatz der 10 Einzelwerte die im Bereich $\bar{x} \pm S$ liegen	80%	60 %	60 %	60 %	60 %	80 %

Tab. 2b: 21 Minuten nach Versuchsbeginn.

	Ableitungsmethode					
	1		2		3	
	Li	Re	Li	Re	Li	Re
Einzelwerte der Potentiale 28,5min nach Versuchsbeginn [μV]	455↓	402↓	390	345	350	322↓
	460	440	417↓	395↓	380	380
	465	445	443	410	382↓	403
	490	455	467	452	457	425
	508	455	473	460	480	433
	513	470	475	477	485	455
	530↑	485	498	490	547	463
	603	495	500↑	500↑	550↑	463
	605	510↑	527	520	583	470↑
	660	595	550	535	585	520
Mittelwert $\bar{x}$	528,9	475,2	474,0	458,4	480,0	433,4
	Δ_1=53,7		Δ_2=15,6		Δ_3=46,6	
Standardabweichg. S	70,7	52,1	48,5	59,6	87,0	55,1
Prozentsatz der 10 Einzelwerte die im Bereich $\bar{x}\pm S$ liegen	60%	80%	60%	60%	50%	80%

Tab. 2c: 28,5 Minuten nach Versuchsbeginn.

	Ableitungsmethode					
	1		2		3	
	Li	Re	Li	Re	Li	Re
Einzelwerte der Potentiale 43,5 min. nach Versuchsbeginn [μV]	310	260	290	236	256	220
	312	275	290	300	277	263
	330	275	300	300	280	290
	340	277	308	302	332	295
	342	280	323	304	342	300
	347	287	325	304	355	308
	355	300	342	310	355	325
	382	302	350	312	410	327
	387	325	356	320	418	330
	402	367	356	330	430	340
Mittelwert $\bar{x}$	350,7	294,8	324,0	301,8	345,5	299,8
	$\Delta_1 = 55,9$		$\Delta_2 = 22,2$		$\Delta_3 = 45,7$	
Standardabweichg. S	31,2	31,3	26,2	25,0	61,4	36,2
Prozentsatz der 10 Einzelwerte die im Bereich $\bar{x} \pm S$ liegen	60 %	80 %	60 %	80 %	50 %	80 %

Tab. 2d: 43,5 Minuten nach Versuchsbeginn.

	Ableitungsmethode					
	1		2		3	
	Li	Re	Li	Re	Li	Re
Einzelwerte der Potentiale 85,5 min nach Versuchsbeginn [μV]	352	320	335	285	283	270
	370	327	340	335	304	290
	390	330	342	360	310	325
	418	345	370	368	372	335
	421	360	378	375	394	345
	425	377	380	375	416	347
	430	380	387	380	430	372
	472	382	400	394	455	385
	477	413	422	400	476	385
	477	455	490	412	500	413
Mittelwert $\bar{x}$	423,2	368,9	384,4	368,4	394,0	346,7
	$\Delta_1 = 54,3$		$\Delta_2 = 16,0$		$\Delta_3 = 47,3$	
Standardabweichg. S	43,9	42,2	46,3	36,4	75,6	44,3
Prozentsatz der 10 Einzelwerte die im Bereich $\bar{x} \pm S$ liegen	50 %	70 %	80 %	80 %	50 %	70 %

Tab. 2e: 58,5 Minuten nach Versuchsbeginn.

	Zeit (t) nach Versuchsbeg.	Ableitungsmethode					
		1		2		3	
	[min.]	Li %	Re %	Li %	Re %	Li %	Re %
Prozentsatz der jeweils 10 Einzelwerte die innerhalb des Bereiches $\bar{x} \pm S$ liegen.	15	70	70	60	60	50	80
	21	80	60	60	60	60	80
	28,5	60	80	60	60	50	80
	43,5	60	80	60	80	50	80
	58,5	50	70	80	80	50	70
	Max.	60	80	60	60	50	70
	Min.	70	70	50	90	40	80
Mittelwert des Prozentsatz.		64,3	72,9	61,4	70,0	50,0	77,1
Mittelwert des Prozentsatz.		68,6		65,7		63,6	
Mittelwert des Prozentsatz.				65,96 %			

Tab. 2f: Zusammenfassung der Tabellen 2a bis 2e: Es zeigt sich, daß über 65 % (65,96 %) aller Meßwerte im Bereich der einfachen mittleren Streuung $\pm s$ liegen.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

ARDEN, G.B., A. BARRADA, J. KELSEY:
New clinical test of retinal function based upon standing potential of the eye.
Brit.J.Ophthal. 46, 449-467 (1962).

ARDEN, G.B., A. BARRADA:
Analysis of the electrooculograms of a series of normal subjects. Role of the lens in the development of the standing potential,ibid.468-482.

ARDEN, G.B., J. KELSEY:
Changes produced by light in the standing potential of the human eye.
J.Physiol.(London) 161, 189-204 (1962).

ARDEN, G.B., J. KELSEY:
Some oberservations of relationship between the standing potential of the human eye and the bleaching and regeneration of visual purple,ibid. 205-226.

FRANCOIS, J., G. VERRIEST, A.DE ROUCK:
Modification of the amplitude of the human electrooculogram by light and dark adaptation.
Brit.J.Ophthal. 39, 398-408 (1955).

FRANCOIS, J. G. VERRIEST, A. DE ROUCK:
Electrooculography as a functional test in pathological conditions of the fundus. I. First results, ibid. 40, 108-112 (1956), II. Base value and drop during dark adaptation, ibid 40,305-312 (1956).

KOLDER, H.: Spontane und experimentelle Änderung des Bestandspotentials des menschlichen Auges.
Pflügers Arch.Ges.Physiol. 268,258-272 (1959).

KRIS, C.: Corneofundal potential variations during light and dark adaptation.
Nature (London) 182, 1027-1028 (1958).

KRIS, C.: Vision: Electrooculography.
Medical Physics, ed.O.Glasser, Vol.3,p.692 ff.
Year Book Publishers Chicago 1960.

MACKENSEN, G.: Zur Technik der Elektronystagmographie.
Klin.Monatsblatt f.Augenheilk.121, 599-602 (1952).

MACKENSEN, G., S. HARDER:
Untersuchungen zur elektrischen Aufzeichnung
von Augenbewegungen. Albert v.Gräfes Arch.
Ophthal. 155, 397-412 (1954).

MACKENSEN, G.: Die Geschwindigkeit horizontaler Blickbewegungen.
Untersuchungen mit Hilfe der Elektrookulographie,
ibid. 160, 47-64 (1958).

MONNIER, M. und H.J. HUFSCHMIDT:
Das EOG und Elektronystagmogramm beim Menschen.
Helv.Physiol.Acta 9, 348-366 (1951).

SHACKEL, B.: Pilot study in electrooculography.
Brit.J.Ophthal. 44, 89-113 (1960).

STEPANIK, J.: Das Bestandspotential des Auges und die experimentelle Steigerung des intraokularen Drucks beim Menschen. Albrecht v.Gräfe's Archiv Ophthal.
160, 226-235 (1958).

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. H. Harms,
dem Direktor der Universitäts-Augenklinik,
für die Möglichkeit an seiner Klinik die vorliegende Dissertation zu verfassen.

Besonders danke ich Herrn Professor Dr. G. Mackensen
für die Überlassung des Themas und vor allem für die
Anregungen beim experimentellen Teil der Arbeit.

Herrn Schneider danke ich für die Hilfe im Fotolabor.

L e b e n s l a u f

Am 29.3.1941 wurde ich, Werner Fabian, in Dresden geboren. Dort besuchte ich die Grundschule bis zur 8. Klasse. 1955 kam ich in die Bundesrepublik, wo ich in Mülheim an der Ruhr das Gymnasium besuchte und im Frühjahr 1962 das Abitur ablegte.

Im Sommer 1962 begann ich in Saarbrücken mit dem Medizinstudium. Zwei Semester später ging ich nach Bonn, wo ich im Frühjahr 1965 die ärztliche Vorprüfung bestand. Im Wintersemester 1965/66 studierte ich in Tübingen weiter und legte dort im Sommer 1968 das Medizinische Staatsexamen ab.